

# 牛山湖两种优势小型鱼类空间分布与沉水植被的关系<sup>\*</sup>

叶少文<sup>\*\*</sup> 张堂林 李钟杰 刘家寿

(中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

**摘要** 运用8种网目规格的成套浮性刺网作为鱼类采样工具,于2005年夏季在长江中游浅水草型湖泊牛山湖进行鱼类定量采样,通过比较不同茂密程度黄丝草生境中的小型鱼类组成、数量和大小结构,探讨此类湖泊小型鱼类的空间分布特征及其与沉水植被的关系。采样期间共捕获13种1124尾鱼,依据其等级丰度和出现频次,鲮和红鳍原鲮为该湖优势上层小型鱼类。在调查的沉水植物生物量范围内,鱼类物种丰富度和Shannon多样性指数与沉水植物生物量之间呈现倒抛物线关系;两种优势小型鱼类的种群丰度均与沉水植物生物量有着显著的线性正相关关系,且其平均个体大小在裸地生境较高、沉水植被茂密区较低,幼鱼更倾向群聚于厚密的黄丝草生境中;其他生境因子(水深和离岸距离)对鲮和红鳍原鲮空间分布的影响不显著。黄丝草植被生境是牛山湖两种优势小型鱼类的重要保护生境,应加强对黄丝草等沉水植被的保护及恢复。

**关键词** 鱼-草关系 小型鱼类 种群结构 相对丰度 长江流域浅水湖泊 牛山湖

文章编号 1001-9332(2012)09-2566-07 中图分类号 Q959.46 文献标识码 A

**Relationships between spatial distribution of two dominant small-sized fishes and submerged macrophyte cover in Niushan Lake of China.** YE Shao-wen, ZHANG Tang-lin, LI Zhong-jie, LIU Jia-shou (State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2012 23(9): 2566–2572.

**Abstract:** By using a set of pelagic gillnets with eight mesh sizes, an investigation was made on the spatial distribution of small fishes in submerged macrophyte habitats in a shallow macrophytic lake (Niushan Lake) in the middle reach of Yangtze River in summer, 2005. The fish composition, abundance, and size structure were examined along a biomass gradient of the most dominant submerged macrophyte *Potamogeton maackianus*. A total of 1124 individuals from 13 fish species were caught during the study period. According to the abundance and occurrence, sharpbelly *Hemiculter leuciscus* and redfin culter *Cultrichthys erythropterus* were identified as the two dominant small pelagic fishes in the lake. There existed dome-like relationships between the fish species richness and Shannon diversity index and the submerged macrophyte biomass within its observed range. For the two dominant small fishes, their abundance was significantly positively correlated with macrophyte biomass, and the average sizes of the individuals of *H. leuciscus* and *C. erythropterus* were larger in un-vegetated habitat but smaller in heavily vegetated habitats, indicating that the young individuals tended to live in dense submerged macrophyte covers. Other two habitat factors, *i. e.*, water depth and distance to shore, had little effects on the spatial distribution of the two fish species. It was inferred that *P. maackianus* cover should be the important refuge habitat for the two dominant small-sized fishes in Niushan Lake, and it would be necessary to protect or restore the submerged macrophyte covers including *P. maackianus*.

**Key words:** fish-macrophyte relationship; small fish; population structure; relative abundance; shallow lake along Yangtze River; Niushan Lake.

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(30900182, 30830025)和中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目资助。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者。E-mail: yeshw@ihb.ac.cn

2011-11-14 收稿 2012-06-06 接受。

水生植被生境是深水湖泊沿岸带和浅水湖泊的主要生境类型,是小型鱼类和幼鱼重要的保护生境。水生植被状况对鱼类空间分布的影响主要与植被类型及其疏密程度有关:沉水植被生境中鱼类密度和多样性一般较其他植被类型(如挺水植被、浮叶植被等)高<sup>[1]</sup>;在一定范围内,鱼类密度随植被生物量的增高而增大,但植被太密时,鱼类的活动受到限制,摄食效率降低,鱼类多样性和生长率可能会降低,根据最适摄食理论(optimal foraging theory),鱼类能权衡被捕食压力和摄食效率的关系,选择最适生境使被捕食死亡率与摄食效率的比值最低<sup>[2]</sup>。有关鱼类空间分布格局与水生植被的关系研究对湖泊渔业管理和资源可持续利用具有重要的指导意义。在北美和欧洲一些湖泊中已有较深入的研究<sup>[3-4]</sup>,我国在这方面的生态学研究目前仅有少量报道<sup>[5-7]</sup>。

长江中下游流域湖泊众多,水深一般在 2~6 m,属于典型的浅水湖泊。天然状态下,这些湖泊通常水生植被茂盛,水体生物生产力高,鱼类资源充裕,其中小型鱼类的种类数目占鱼类总种数的三分之二左右,资源蕴藏量相当丰富<sup>[8-10]</sup>。它们一方面作为饵料鱼被食鱼性鱼类如鳊(*Siniperca chuatsi*)、乌鳢(*Channa argus*)、蒙古鲃(*Culter mongolicus*)等所捕食,另一方面又和食性相近的经济鱼类如鲤(*Cyprinus carpio*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)等竞争湖中的饵料生物,因而在湖泊生态系统的能量流动和渔业管理中占有十分重要的生态功能和地位。小型鱼类的种群和群落生态学研究是长江中下游湖泊食鱼性渔业可持续发展的基础<sup>[11]</sup>。过去十几年里,我们围绕小型鱼类空间分布格局及其与水生植被的关系在梁子湖群开展了相关研究工作<sup>[5-7,12]</sup>,但由于样方面积和所用采样工具(蹦网 Pop net 和围网 Block net)捕捞选择性的限制,这些研究主要针对湖泊底层和中下层游动能力较弱或活动范围较小的鱼类,如小黄鲃鱼(*Microperops swinhonis*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、高体鳊鲂(*Rhodeus ocellatus*)和彩副鲃(*Paracheilognathus imberbis*)等,对活动能力较强的上层小型鱼类的捕获效果则不甚理想,例如观察发现,鳊(*Hemiculter leucisculus*)在蹦网上框的上浮过程中逃离样方区域,在围网操作过程中也时有上层小型鱼类受惊扰快速逃逸的现象发生。为此,本文运用多种网目规格的成套浮性刺网在长江中游典型浅水草型湖泊牛山湖进行

夏季鱼类采样,通过比较分析优势上层小型鱼类在不同茂密程度沉水植被生境中的种群丰度和大小结构,旨在进一步探讨长江流域浅水湖泊小型鱼类的空间分布特征及其与水生植被的关系,为小型鱼类资源的合理开发和多样性保护提供科学参考。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域概况

牛山湖(30°16′—30°22′ N, 114°27′—114°38′ E)位于长江中游南岸、武汉市江夏区东约 10 km 处,原为梁子湖西北部的一个湖湾,1979 年筑堤与梁子湖分开,堤中建有节制闸(图 1)。该湖水域面积 38 km<sup>2</sup>,常年平均水深 2.5~3.5 m,最大水深可达 5 m,底质以淤泥为主,沉水植物丰盛,优势种类为黄丝草(*Potamogeton maackianus*),是长江中、下游地区一个有代表性的浅水草型湖泊<sup>[13]</sup>。

牛山湖周边土地利用方式以农田耕作为主,人口分布相对稀疏,受污染程度较低,水质清澈,透明度高。该湖渔业资源丰富,湖泊利用方式以渔业开发为主,是一个典型的水产养殖型湖泊。20 世纪 90 年代中期之前,人工放养的种类主要是草食性鱼类(草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、团头鲂 *Megalobrama amblycephala*)和滤食性鱼类(鲢和鳙),近十几年来减少了这两大类鱼的放养量,同时加强了鳊、蒙古鲃、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)等名特优水产种类的人工放养。

### 1.2 鱼类采样区生境调查

根据牛山湖优势沉水植物黄丝草的分布状况,2005 年 7 月初在该湖有针对性地对沿黄丝草植被的茂密程度选择了 7 个区域作为本研究鱼类采样区(图 1),每个采样区内用采草器(样方面积 0.18 m<sup>2</sup>)采集黄丝草 4~5 次,同时用延绳法测量水深,用透明度盘测量透明度,用 BOSCH 激光测距仪测

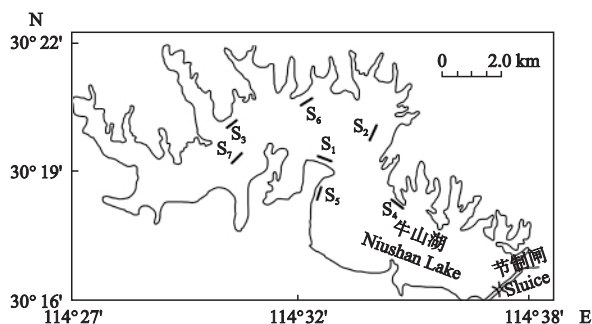


图 1 牛山湖轮廓图和鱼类采样点( $S_1 \sim S_7$ )分布

Fig. 1 Sketch map of Niushan Lake and distribution of the fish sampling sites ( $S_1 \sim S_7$ ).

量离岸距离,各采样区内主要生境因子的测量值如表 1 所示,其中:  $S_1$  为裸地生境,水清见底;  $S_2 \sim S_7$  的沉水植物生物量由低到高依次递增,均水清可见湖底黄丝草. 彼尔逊相关分析结果表明,沉水植物生物量、水深和离岸距离 3 个生境因子之间的相关关系均不显著(表 2).

### 1.3 鱼类采样方法

2005 年 7 月 6—24 日,使用成套刺网在采样区内对鱼类进行定量采样. 每套刺网由 8 种网目规格各异的浮性刺网(网目大小依次为 20、25、33、40、50、60、70 和 80 mm,均高 1.5 m、长 20 m)串联而成,用以捕获较大体长范围内的鱼类个体. 18:00—19:00 日落之前,在采样区内与湖岸平行方向下两套共 16 条刺网,刺网上端浮子浮力大于底端铅锤质量,因而可以垂直悬浮于湖面之下;第 2 天 6:00—7:00 收网,上岸摘鱼,按种类统计鱼类数量并测量鱼体全长(TL,精确至 1 mm). 在整个采样期间,这两套刺网按同样采样程序用于各个采样区,以保障渔获物数据之间的可比性. 采样期间的平均水温为 33.6 °C.

表 1 牛山湖 7 个鱼类采样区的主要生境因子

Table 1 Major habitat factors of the seven fish sampling sites in Niushan Lake (mean  $\pm$  SE)

采样区 Sampling site	采样点数 Sampling number (n)	沉水植物生物量 Submerged macrophyte biomass (kg $\cdot$ m <sup>-2</sup> )	水深 Water depth (m)	离岸距离 Distance to shore (m)
$S_1$	4	0	2.64 $\pm$ 0.11	155 $\pm$ 8
$S_2$	4	0.933 $\pm$ 0.038	1.95 $\pm$ 0.06	436 $\pm$ 27
$S_3$	5	1.406 $\pm$ 0.105	2.93 $\pm$ 0.17	252 $\pm$ 15
$S_4$	5	2.052 $\pm$ 0.087	2.30 $\pm$ 0.13	93 $\pm$ 6
$S_5$	4	3.143 $\pm$ 0.145	2.03 $\pm$ 0.15	72 $\pm$ 7
$S_6$	4	3.508 $\pm$ 0.221	1.86 $\pm$ 0.08	197 $\pm$ 13
$S_7$	5	4.055 $\pm$ 0.163	2.69 $\pm$ 0.10	622 $\pm$ 45

表 2 采样区 3 个主要生境因子间的彼尔逊相关系数(R 值)及显著性水平(P 值)

Table 2 Pearson correlation coefficients (R) and significance levels (P) between the three major habitat factors in the sampling sites

P		R		
		沉水植物生物量 Submerged macrophyte biomass	水深 Water depth	离岸距离 Distance to shore
	沉水植物生物量 Submerged macrophyte biomass	—	-0.243	0.254
	水深 Water depth	0.599	—	0.234
	离岸距离 Distance to shore	0.582	0.614	—

### 1.4 数据处理

对所有鱼的渔获量数据汇总后进行物种等级丰度作图<sup>[14]</sup>,根据其丰度和出现频次来确定优势种类. 用彼尔逊系数(Pearson R-value)和线性回归分析采样区鱼类群落和种群以下 3 方面特征与水生植被生物量等生境因子的相关性: 1) 物种丰富度,即鱼类的物种数目; 2) Shannon 多样性指数,  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ,  $P_i$  为渔获物中第  $i$  个物种的个体数与总个体数的比值; 3) 优势鱼类种群的相对丰度,用单位捕捞努力渔获量(CPUE)衡量,即平均 1 套刺网 1 h 内捕获鱼的数量,单位为 ind  $\cdot$  set of gillnets<sup>-1</sup>  $\cdot$  h<sup>-1</sup>. 单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Turkey 多重比较用于检验优势鱼类种群的平均体全长(TL)在不同茂密程度的沉水植被生境之间的差异显著性( $\alpha = 0.05$ ).

所有数据运用 Excel 2003、SPSS 16.0 和 Sigma-Plot 10.0 等软件进行数据整理、统计分析和作图.

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼类组成、数量及优势种

采样期间刺网共捕获 5 科、13 种鱼,总计 1124 尾(表 3). 将达到性成熟的个体平均体质量 < 30 g 作为确定小型鱼类的标准<sup>[8]</sup>. 渔获物中的 9 种鱼类属于小型鱼类范畴,包括鲮、红鳍原鲃(*Cultrichthys erythropterus*)、鲫(*Carassius auratus*)、麦穗鱼、湖北圆吻鲴(*Distoechodon hupeinensis*)、黄尾鲴(*Xenocyparis davidi*)、似鲮(*Toxabramis swinhonis*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)和间下鲃(*Hyporhamphus intermedius*),他们的最大全长均不及 285 mm,其余 4 种大型经济鱼类仅捕到幼鱼. 从这些鱼类的生态习性以及口位和体型等形态学特征<sup>[15]</sup>来看,鲮、红鳍原鲃、似鲮、鲮和间下鲃的空间生态位主要偏向水体上层,其他鱼类更多地活动于水体中下层或底层. 考虑这 13 种鱼的等级丰度和出现频次(图 2),鲮和红鳍原鲃在全部采样区均出现,其数量分别占总渔获量的 77.3% 和 16.3%,因而被视为牛山湖的两种优势上层小型鱼类.

### 2.2 鱼类多样性与沉水植被的关系

采样区鱼类多样性和沉水植被茂密程度的关系如图 3 所示,一定程度上鱼类物种丰富度、Shannon 多样性指数与沉水植物生物量之间呈现倒抛物线形关系. 即在本研究调查的沉水植物生物量范围内,鱼类物种数和多样性指数均在茂密程度适中的沉水植被生境中最高,在过于稀疏或茂密的沉水植被生境

表 3 牛山湖刺网捕获鱼类的种类组成、数量和全长范围  
Table 3 Species composition , number and total length ( TL) range of the fish caught by the gillnets in Niushan Lake

种类 Species	空间生态位 Space niche	采样区 Sampling site							合计 Sum	全长范围 TL range ( mm)
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>		
鲤科 Cyprinidae										
1. 鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	a	29	99	117	102	146	173	203	869	76 ~ 208
2. 红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	a	5	13	24	18	38	51	34	183	127 ~ 263
3. 鲫 <i>Carassius auratus</i>	b	2	4	0	0	6	3	0	15	82 ~ 225
4. 麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	b	0	0	0	0	4	0	0	4	85 ~ 99
5. 湖北圆吻鲴 <i>Distoechodon hupeinensis</i>	b	0	0	1	2	0	0	1	4	109 ~ 183
6. 黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	b	0	0	1	3	0	0	0	4	129 ~ 282
7. 似鲮 <i>Toxabramis swinhonis</i>	a	0	2	0	0	0	0	0	2	84 ~ 94
8. 鳊 <i>Parabramis pekinensis</i> *	b	0	0	0	1	0	0	0	1	157
9. 鳊 <i>Aristichthys nobilis</i> *	a	0	0	1	0	0	0	0	1	153
鲮科 Bagridae										
10. 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	c	1	1	5	1	3	1	0	12	109 ~ 247
鲇科 Hemiramphidae										
11. 间下鲇 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	a	0	0	0	0	1	0	0	1	119
鲈科 Serranidae										
12. 鳊 <i>Siniperca chuatsi</i> *	c	1	0	8	4	3	4	0	20	141 ~ 338
鲤科 Channidae										
13. 乌鳢 <i>Channa argus</i> *	c	0	1	0	1	3	1	2	8	108 ~ 246
总计 Total		38	120	157	132	204	233	240	1124	

\* 大型鱼类 ,但本研究仅捕获到其幼鱼 Large-sized species whose juveniles were only caught in the study. a) 上层 Pelagic species; b) 中下层 Benthopelagic species; c) 底层 Bottom species.

中较低 ,其原因可能在于中等生物量水平的沉水植被能够为更多生态位上的鱼类提供适宜的生境结构和栖息空间; 沉水植被生物量最高的 S<sub>7</sub> 采样区内鱼类多样性最低 ,与两种优势鱼类鲮和红鳍原鲌在该采样区的数量最多( 表 3) 有着直接联系.

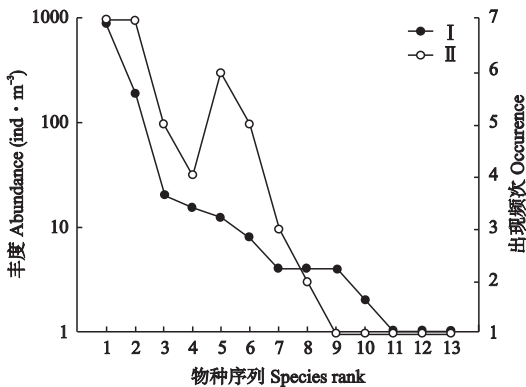


图 2 牛山湖刺网捕获的 13 种鱼的等级丰度 ( I ) 及出现频次 ( II )

Fig.2 Rank-abundance ( I ) and occurrence ( II ) of the 13 fish species caught by the gillnets in Niushan Lake.

物种丰度值标识在对数坐标上 Species abundance represented in log scale on the figure. 1) 鲮 *H. leucisculus*; 2) 红鳍原鲌 *C. erythropterus*; 3) 鳊 *S. chuatsi*; 4) 鲫 *C. auratus*; 5) 黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco*; 6) 乌鳢 *C. argus*; 7) 湖北圆吻鲴 *D. hupeinensis*; 8) 黄尾鲴 *X. davidi*; 9) 麦穗鱼 *P. parva*; 10) 似鲮 *T. swinhonis*; 11) 间下鲇 *H. intermedius*; 12) 鳊 *P. pekinensis*; 13) 鳊 *A. nobilis*.

2.3 优势鱼类种群丰度与沉水植被的关系

彼尔逊相关分析结果表明 ,优势小型鱼类鲮和红鳍原鲌种群丰度均与沉水植物生物量有着显著的正相关关系 ,但与水深和离岸距离的相关性都不显著( 表 4) . 本研究中鲮和红鳍原鲌的相对丰度分别为每套刺网每小时 2.42 ~ 16.92 和 0.42 ~ 4.25 尾.

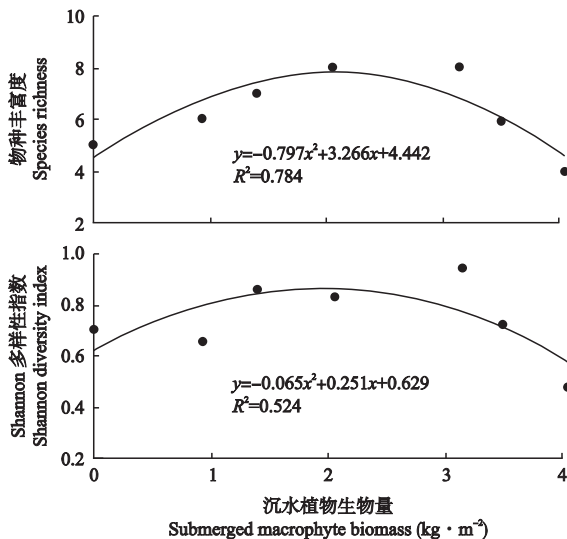


图 3 采样区鱼类群落物种丰富度和 Shannon 多样性指数与沉水植物生物量的回归关系

Fig.3 Regression relationships between species richness ,Shannon diversity index of fish assemblages and submerged macrophyte biomass in the sampling sites.



表 4 牛山湖两种优势小型鱼类丰度与 3 个主要生境因子间的彼尔逊相关系数 ( $R$ ) 和显著性水平 ( $P$ )Table 4 Pearson correlation coefficients ( $R$ ) and significance levels ( $P$ ) between the abundances of the two dominant small fishes and the three major habitat factors ( $n=7$ )

种类 Species	沉水植物生物量 Submerged macrophyte biomass		水深 Water depth		离岸距离 Distance to shore	
	$R$	$P$	$R$	$P$	$R$	$P$
鲮 <i>H. leuciscus</i>	0.955	0.001	-0.174	0.709	0.490	0.265
红鳍原鲃 <i>C. erythropterus</i>	0.883	0.008	-0.379	0.402	0.051	0.914

回归分析表明,这两种优势上层小型鱼类的种群相对丰度与沉水植物生物量之间呈线性回归关系(图 4),一定程度上反映了鲮和红鳍原鲃总体趋向分布于茂密的沉水植被生境。

#### 2.4 优势鱼类种群平均体全长与沉水植被的关系

方差分析和多重比较表明,鲮和红鳍原鲃种群平均个体大小在不同茂密程度的沉水植被生境之间存在显著性差异( $P < 0.01$ , 图 5)。两种优势小型鱼类的平均体全长都表现为在裸地采样区( $S_1$ )最高、在沉水植被茂密程度高的采样区( $S_5 \sim S_7$ )最低。其中,鲮在  $S_2 \sim S_4$  采样区的平均体全长接近  $S_1$  的对应值,显著大于在  $S_5 \sim S_7$  的对应值;红鳍原鲃在  $S_2 \sim S_4$  的平均体全长显著小于  $S_1$  的对应值,显著大于或接近在  $S_5 \sim S_7$  的对应值。由此可见,沉水植被的有无和多寡与鲮、红鳍原鲃的种群结构差异有着一定的联系,可能与种群内部不同大小个体鱼的水生植被生境选择性有关。

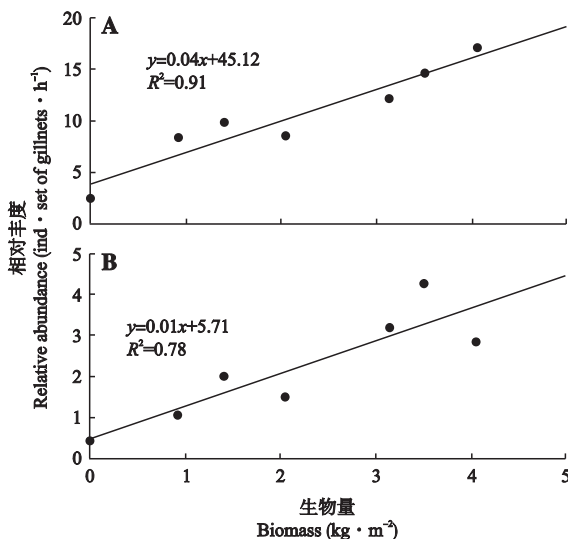


图 4 鲮 (A) 和红鳍原鲃 (B) 的相对丰度与沉水植物生物量的回归关系

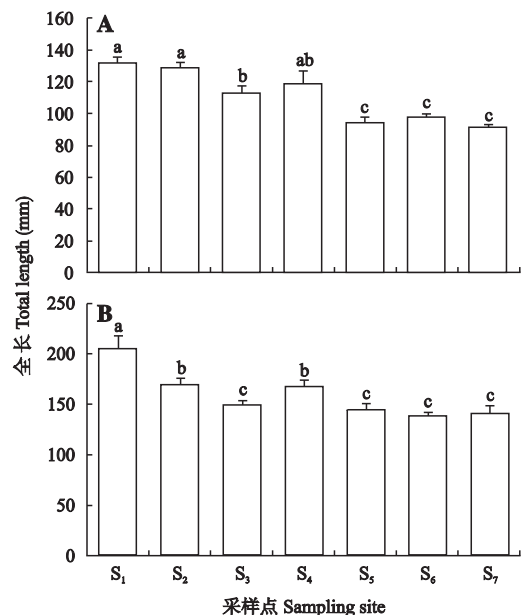
Fig. 4 Regression relationships between relative abundance of *Hemiculter leuciscus* (A), *Cultrichthys erythropterus* (B) and submerged macrophyte biomass.

图 5 采样区鲮 (A) 和红鳍原鲃 (B) 的平均体全长

Fig. 5 Mean total length of *Hemiculter leuciscus* (A) and *Cultrichthys erythropterus* (B) in the sampling sites.

不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters meant significant difference at 0.05 level.

### 3 讨论

本研究结果表明,鲮和红鳍原鲃是牛山湖的两种优势上层小型鱼类,与围网调查的该湖其他几种无经济价值的优势小型鱼类(高体鳊、彩副鳊、麦穗鱼、小黄鲃、子陵吻虾虎鱼等)<sup>[7]</sup>有所不同,其最大体全长均大于 200 mm,具有一定的食用价值,是渔民渔具尤其是网簰(俗称“迷魂阵”)的主要捕捞对象<sup>[10]</sup>。鲮和红鳍原鲃在我国内陆水体分布甚广,从南至北诸河流及湖泊都有记录,国外分布于越南、朝鲜、俄罗斯<sup>[16]</sup>。20 世纪五、六十年代随“四大家鱼”(青鱼、草鱼、鲢、鳙)的人工放养入侵云南高原湖泊<sup>[17]</sup>。过去几十年里,有关这两种小型鱼类的生物学和生态学研究主要集中在形态、食性、繁殖、生长和渔产量调查等方面<sup>[18-21]</sup>,这些研究采用的鱼类样品一般来自上岸后的渔民渔获物,尽管可以补

充采样水体的环境背景资料,但缺乏更直接的与鱼类样品采集同时同地的水环境参数值,因此很难在较精细的空间尺度上(如同一个湖泊内或湖区内)探讨鱼类种群特征与环境因子的关系,并预测鱼类对环境改变的响应.从这个意义上来说,本研究使用自备采样工具在选定样点上进行鱼类采样,沉水植被等生境因子可测,且鱼类采样结果可比性较强,因而是定量研究我国内陆水体鱼类与环境关系的一次积极尝试.

在本研究调查的黄丝草生物量范围内,蟹和红鳍原鲇的种群丰度均与沉水植物生物量有着显著的正相关关系,究其原因,沉水植被可能通过以下几个方面影响小型鱼类的空间分布:1) 增加鱼类的摄食机会.蟹和红鳍原鲇分别为杂食性鱼类和肉食性鱼类,其食谱较广,营养生态位上存在一定的差异<sup>[15]</sup>,茂密的沉水植被能为它们提供更多的饵料资源,包括附着在沉水植物茎叶上的虾类、螺类、着生藻类和水生昆虫等.2) 减少鱼类的被捕食风险.黄丝草在湖中可形成厚厚一层“地毯”状结构,有利于蟹和红鳍原鲇等小型鱼类躲藏或逃避翘嘴鲇等食鱼性鱼类的追捕.3) 为鱼类提供繁殖场所.蟹和红鳍原鲇在长江流域的繁殖期为5—7月,它们一般将其粘性卵产在沉水植物的茎叶上<sup>[15]</sup>,同时沉水植物周围的溶氧条件和水化环境均有利于鱼卵的孵化<sup>[22]</sup>.需要注意的是,红鳍原鲇在该湖另一种沉水植物聚草生境中的分布则受到了限制<sup>[6]</sup>,与聚草悬浮于水中乃至延伸至水面的茎叶结构有关,不同种类沉水植物的形态和空间结构可能会对鱼类的视觉、行为学特征和生境选择性产生不同的影响<sup>[4]</sup>.

和水生植被相比,水深对蟹和红鳍原鲇种群丰度的影响并不显著,该结论与同属梁子湖群的扁担塘的小型鱼类空间分布格局相一致<sup>[5]</sup>.水深是影响北美和欧洲深水湖泊鱼类空间分布的一个重要因素,这些湖泊沿岸带和敞水区的水深差异较大,鱼类组成也往往存在着较大的差异<sup>[23-24]</sup>.通常,水深对鱼类生境选择的影响是由水温和溶解氧等理化环境因子的改变来实现的<sup>[22]</sup>.长江中下游湖泊水深较浅,一般低于5 m,不存在水温和溶解氧分层的现象,水深梯度导致的环境因子的变化也较小,因而水深对鱼类空间分布的影响不显著.

牛山湖中蟹和红鳍原鲇的平均个体大小都表现为在裸地生境最高、在黄丝草植被茂密的采样区内相对较低,反映出沉水植被的有无和茂密程度对这两种优势小型鱼类的种群结构有着一定的影响,即

小个体幼鱼似乎更倾向群聚于厚密的黄丝草生境中.一般而言,食鱼性鱼类的捕食选择性受其口裂大小及饵料鱼大小的限制,同时,饵料鱼类察觉敌害和反捕食的能力也随个体生长而增强,因此鱼类在不同生活史阶段对生境的需求可能存在着差异,表现为与个体大小相关的生境间的迁移或生境利用方式的转变,以降低种群内对食物和空间等资源的竞争<sup>[25]</sup>.有关长江流域浅水湖泊鱼类对沉水植被生境的利用对策还需要进一步研究.

恰当鱼类采样方法对于研究鱼类和环境间的关系至关重要<sup>[3,12]</sup>.长江中下游草型湖泊一般水深较浅、沉水植物生长茂密.由于水生植被的影响,常用的一些鱼类采样方法如拖网法、电捕法、潜水直接计数法等不太适合在这类湖泊进行小型鱼类采样.笔者曾在扁担塘和牛山湖尝试过蹦网和围网采样,这两类自制采样工具对于湖泊底层和中下层游动力较弱和活动范围较小的鱼类的捕获效果较好,但因捕捞选择性和样方面积的限制,对蟹和红鳍原鲇等活动能力较强的上层小型鱼类的采样效果不够理想.本研究在沉水植被生境中使用8种网目规格各异的浮性刺网作为鱼类采样工具,从渔获量和优势鱼种群结构来看,基于该方法的单位捕捞努力渔获量(CPUE)适宜于度量蟹和红鳍原鲇的相对丰度,但刺网也存在较强的捕捞选择性,捕获的鱼类总种数不及蹦网和围网,一些湖泊底层和中下层鱼类(如高体鳊、彩副鲮、麦穗鱼、小黄鲈、子陵吻虾虎鱼等)并没有采集到.总体看来,蹦网、围网和刺网采样均有其优缺点和适宜范围,单独或联合使用应根据具体研究目的和研究对象.

一直以来,长江中下游浅水湖泊是我国淡水渔业的重要基地,有着得天独厚的资源优势 and 巨大的渔产潜力,传统的大水面人工放养以“四大家鱼”等鲤科鱼类为主,不合理的渔业方式常导致湖泊水生植被减少和水体富营养化.已有研究表明,放养食鱼性鱼类通过营养级串联效应可改善湖泊水质<sup>[26]</sup>,提高经济效益,是协调这类湖泊渔业发展和水环境保护的重要途径之一<sup>[11]</sup>.小型鱼类是食鱼性鱼类的主要饵料生物,研究其群落结构、种群丰度和生境需求是合理利用小型鱼类资源和保护鱼类资源多样性的基础.本研究结果表明,沉水植被是蟹和红鳍原鲇等小型鱼类的重要保护生境,湖泊渔业管理上应加强对黄丝草等水生植被的保护或恢复,同时,良好的沉水植被也是整个湖泊生态系统健康运转和水质净化的重要保障.

致谢 感谢李国华高级工程师在野外采样中的协助以及两位审稿专家和 Kevin Pangle 博士对本文提出的宝贵建议。

## 参考文献

- [1] Holland LE, Huston ML. Relationship of young-of-the-year northern pike to aquatic vegetation types in backwaters of the Upper Mississippi River. *North American Journal of Fisheries Management*, 1984, **4**: 514 – 522
- [2] Turner AM, Mittelbach GG. Predator avoidance and community structure: Interactions among piscivores, planktivores, and plankton. *Ecology*, 1990, **71**: 2241 – 2254
- [3] Dibble ED, Killgore KJ, Harrel SL. Assessment of fish-plant interactions. *American Fisheries Society Symposium*, 1996, **16**: 357 – 372
- [4] Smokorowski KE, Pratt TC. Effect of a change in physical structure and cover on fish and fish habitat in freshwater ecosystems: A review and meta-analysis. *Environmental Reviews*, 2007, **15**: 15 – 41
- [5] Xie SG, Cui YB, Zhang TL, et al. The spatial pattern of the small fish community in the Biandantang Lake, a small shallow lake along the middle reach of the Yangtze River, China. *Environmental Biology of Fishes*, 2000, **57**: 179 – 190
- [6] Ye SW, Li ZJ, Lek-Ang S, et al. Community structure of small fishes in a shallow macrophytic lake (Lake Niushan) along the middle reach of the Yangtze River, China. *Aquatic Living Resources*, 2006, **19**: 349 – 359
- [7] Ye S-W (叶少文), Li Z-J (李钟杰), Cao W-X (曹文宣). Species composition, diversity and densities of small fishes in two different habitats in Niushan Lake. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2007, **18**(7): 1589 – 1595 (in Chinese)
- [8] Zhang T-L (张堂林), Fang R-L (方榕乐), Cui Y-B (崔奕波). Comparisons of fish community diversity in five lake areas under different levels of fishery development. *Acta Hydrobiologica Sinica (水生生物学报)*, 1996, **20**(Suppl.): 191 – 199 (in Chinese)
- [9] Song T-X (宋天祥), Zhang G-H (张国华), Chang J-B (常剑波), et al. Fish diversity in Honghu Lake. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 1999, **10**(1): 86 – 90 (in Chinese)
- [10] Ye S-W (叶少文). Studies on Fish Communities and Trophic Network Model of Shallow Lakes along the Middle Reach of the Yangtze River. PhD Thesis. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007 (in Chinese)
- [11] Xie S-G (谢松光), Cui Y-B (崔奕波), Li Z-J (李钟杰). Ecological studies on lake fisheries on piscivorous fishes: Theory and methods. *Acta Hydrobiologica Sinica (水生生物学报)*, 2000, **24**(1): 72 – 81 (in Chinese)
- [12] Xie S-G (谢松光), Li Z-J (李钟杰), Cui Y-B (崔奕波). Studies on small fish densities with block net and mark-recapture method in macrophytic lake. *Acta Hydrobiologica Sinica (水生生物学报)*, 2003, **27**(1): 98 – 99 (in Chinese)
- [13] Guan Z-H (官子和), Liu R-Q (刘瑞秋), Wang J (王驥), et al. Resource and environmental characteristics of small and medium lakes// Cui Y-B (崔奕波), Li Z-J (李钟杰), eds. *Fishery Resources and Conservation of Environment in Lakes of the Changjiang River Basin*. Beijing: Science Press, 2005: 9 – 89 (in Chinese)
- [14] Magurran AE. *Measuring Biological Diversity*. Malden: Blackwell Science, 2004
- [15] Department of Ichthyology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences (中国科学院水生生物研究所鱼类研究室). *Fishes of the Yangtze River*. Beijing: Science Press, 1976 (in Chinese)
- [16] Luo Y-L (罗云林), Chen Y-R (陈银瑞), Cultrinae// Chen Y-Y (陈宜瑜), ed. *Fauna Sinica. Osteichthyes. Cypriniformes II*. Beijing: Science Press, 1998: 112 – 207 (in Chinese)
- [17] Chen Y-R (陈银瑞), Yang J-X (杨君兴), Li Z-Y (李再云). The diversity and present status of fishes in Yunnan Province. *Chinese Biodiversity (生物多样性)*, 1998, **6**(4): 272 – 277 (in Chinese)
- [18] Xie Z-Y (谢宗墉), Wu X-F (吴雄飞), Zhuang L-H (庄丽禾), et al. Investigations of the biology of *Hemiculter leucisculus* in Fenhe Reservoir. *Journal of Shandong College of Oceanology (山东海洋学院学报)*, 1986, **16**(4): 54 – 69 (in Chinese)
- [19] Xie C-X (谢从新), Yuan X-H (袁新华), Zhu B-K (朱邦科), et al. Life history pattern of eight fishes in Bao'an Lake// Liang Y-L (梁彦龄), Liu H-Q (刘伙泉), eds. *Resources, Environment and Fishery Ecological Management of Macrophytic Lakes*. Beijing: Science Press, 1995: 293 – 300 (in Chinese)
- [20] Feng G-P (冯广朋), Ye S-W (叶少文), Li Z-J (李钟杰), et al. Age and growth of *Culter alburnus* and *Cultrichthys erythropterus* in Lake Niushan. *Freshwater Fisheries (淡水渔业)*, 2007, **37**(1): 39 – 42 (in Chinese)
- [21] Zhang T-L (张堂林). Life-history Strategies, Trophic Patterns and Community Structure in the Fishes of Lake Biandantang. PhD Thesis. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2005 (in Chinese)
- [22] Dodds WK. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. San Diego: Academic Press, 2002
- [23] Olin M, Rask M, Ruuhijärvi J, et al. Fish community structure in mesotrophic and eutrophic lakes of southern Finland: The relative abundances of percids and cyprinids along a trophic gradient. *Journal of Fish Biology*, 2002, **60**: 593 – 612
- [24] Mayo JS, Jackson DA. Quantifying littoral vertical habitat structure and fish community associations using underwater visual census. *Environmental Biology of Fishes*, 2006, **75**: 395 – 407
- [25] Rossier O, Castella E, Lachavanne JB. Influence of submerged aquatic vegetation on size class distribution of perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) in the littoral zone of Lake Geneva (Switzerland). *Aquatic Sciences*, 1996, **58**: 1 – 14
- [26] Carpenter SR, Cole JJ, Hodgson JR, et al. Trophic cascades, nutrients, and lake productivity: Whole-lake experiments. *Ecological Monographs*, 2001, **71**: 163 – 186

作者简介 叶少文,男,1979年7月生,博士,助理研究员。主要从事湖泊鱼类群落多样性和食物网模型研究。E-mail: yeshw@ihb.ac.cn

责任编辑 肖红